

## Kreacja par elektron-pozyton, przewodnictwo elektryczne w grafenie oraz granica klasyczna operatora Diraca w języku funkcji Diraca-Heisenberga-Wignera

Rozprawa doktorska przygotowana w Centrum Fizyki Teoretycznej PAN pod kierunkiem prof. dr. hab. Iwo Białynickiego-Biruli, przedstawiona Radzie Wydziału Fizyki UW.

### Streszczenie

W mojej rozprawie zastosowałem formalizm jednoczasowej funkcji Diraca-Heisenberga-Wignera (DHW) do zbadania trzech (obecnych w tytule rozprawy) zagadnień: kreacji par elektron-pozyton w jednorodnym polu elektrycznym, transportu elektronowego w grafenie oraz granicy klasycznej równania Diraca w języku drugiej kwantyzacji.

W części pierwszej podałem jak ze składowych macierzy DHW odtworzyć gęstość par elektron-pozyton. Następnie, korzystając z własności grup  $SO(3)$  i  $SU(2)$  sprowadziłem równania na funkcje DHW w jednorodnym polu elektrycznym do jednego równania różniczkowego zwyczajnego drugiego rzędu. Równanie to rozwiązałem dla pola stałego, pola włączonego wykładniczo oraz tzw. pola Sautera, a także omówiłem analityczne własności gęstości par dla każdego z powyższych pól elektrycznych. Pokazałem, że gęstość par jest analityczną funkcją natężenia pola elektrycznego jeśli pole to zostało włączone adiabaticznie. W stałym polu elektrycznym  $E$  znalazłem pierwsze wyrazy rozwinięcia gęstości par  $n(E)$  w szereg względem  $E$  oraz metodę perturbacyjną generującą cały szereg. Pokazałem, że nieanalityczność Schwingera pojawia się w niefizycznej granicy, gdy założymy, że pole elektryczne oddziałuje na układ przez nieskończenie długi czas. Otrzymane rezultaty pozwalają sądzić, że nieanalityczny charakter wzoru Schwingera  $n(E) = e^{-\pi E/E_{\text{crit}}}$ , gdzie  $E_{\text{crit}} = m^2 c^3 / (e\hbar)$  jest tzw. „polem krytycznym”, spowodowany jest niefizycznym założeniem dotyczącym oddziaływania pola elektrycznego z próżnią Diraca.

W części drugiej szczegółowo przedyskutowałem powiązania grafenu z równaniem Diraca. Wprowadzając funkcję DHW dla grafenu podałem ogólną metodę wyznaczania prądu nośników.

Wykonując obliczenia dla przypadku skrzyżowanych pól elektrycznego i magnetycznego odtworzyłem przewidywania kwantowego efektu Halla w grafenie. Pokazałem, iż formalizm funkcji DHW pozwala uwzględnić w opisie prądu nośników dodatkowe informacje, np. związane ze zlokalizowaniem nośników wewnątrz próbki grafenu. Ponadto, podałem metodę perturbacyjną pozwalającą na obliczenie kwadratowych (w natężeniu pola elektrycznego) i wyższych poprawek do przewodnictwa elektrycznego. Przeprowadziłem dyskusję użyteczności zaproponowanej metody, zwracając szczególną uwagę na towarzyszące jej niedogodności.

W ostatniej części omówiłem granicę klasyczną operatora Diraca, tzn. granicę klasyczną jego wartości oczekiwanych na dowolnym stanie układu. Korzystając z formalizmu funkcji DHW podałem przepis pozwalający rozdzielić wkłady do gęstości spinu pochodzące od cząstek, od wkładów związanych z antycząstkami.